

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：14301
研究種目：基盤研究(B) (一般)
研究期間：2017～2019
課題番号：17H02724
研究課題名(和文) 自己組織化ナノ炭素細線間反応による細孔炭素物質の合成と機能

研究課題名(英文) eibunmei

研究代表者

坂口 浩司 (Sakaguchi, Hiroshi)

京都大学・エネルギー理工学研究所・教授

研究者番号：30211931

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,900,000円

研究成果の概要(和文)：有機合成した前駆体分子を用いて、二ゾーン化学気相成長を行い、金属基板上に表面合成したGNRを更に高温での加熱により、GNR一次元鎖同士が化学結合した二次元GNRネットワークが形成されることを明らかにした。二次元GNRネットワーク構造は、GNR一次元鎖同士が分子間縮環反応を起こし形成した幅広いGNR構造、及び炭素-炭素単結合により形成した梯子型二次元炭素構造から構成された。GNR一次元鎖から二次元ネットワーク構造への転移により、電気伝導度、キャリア移動度は数桁増大した。また熱物性について検討し、膜厚方向で $0.11 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ と最も低い熱伝導率を示す炭素材料の一つであることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で明らかにした、二次元GNRネットワークはある程度の大きさの電気伝導性と非常に低い熱伝導率を有しており、熱電材料としての有用性が示されたと考えられる。GNR鎖同士の脱水素縮環反応を利用した従来に無い広い幅を持つGNR構造や炭素-炭素単結合により形成した梯子型二次元炭素構造は、本研究で見出された新しい二次元ナノ炭素構造である。また、二次元ナノ炭素構造は、ある程度大きな電気伝導性と低い熱伝導性を持つことが示され、ボトムアップ合成GNRの熱電材料としての有用性を初めて示した研究と位置づけられる。これらの成果は、表面ボトムアップ合成GNRのエネルギー利用の可能性を示した研究である。

研究成果の概要(英文)：Two-dimensional graphene nanoribbons networks were fabricated from organic synthesized Z-bar linkage precursor molecules using our developed two-zone chemical vapor deposition technique. Two-dimensional graphene nanoribbons networks consist of fused wider GNR structures and ladder type structure via a C-C bond formation of adjacent GNRs. Upon a transition from the one-dimensional GNRs to two-dimensional graphene nanoribbons networks by an annealing, the electrical conductivities and carrier mobilities enhanced more than 5 orders magnitude. Additionally, 2D structures showed the significantly small thermal conductivities regarded as one of the most lowest values from carbon based materials.

研究分野：ナノ科学

キーワード：ナノ材料

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

金属表面は、有機分子との強い電子的相互作用により、分子を二次元配列させる原子スケールの鋳型である。我々は、単一分子レベルで導電性高分子の長さ・密度・方向・形を任意に制御しながら金属表面上に構築する新しい分子細線合成技術“電気化学エピタキシャル重合”を開発した (*Nat. Mater.*, 3, 551 (2004))。この方法は原料 (モノマー) を含む電解質液中で、ヨウ素で表面修飾した単結晶金電極に電圧パルスを加えることにより、ヨウ素原子配列に沿って導電性高分子を精密に重合させる新しい合成法である。この方法を用い、分子細線の大面积・一軸成長に成功した。更に電子的性質の異なる二種類の導電性高分子細線を基板上で連結させることにも世界で初めて成功した (*Science*, 310, 1002 (2005))。金属鋳型上の分子組織化を利用して、これまでに無い新物質・材料の表面合成とデバイス化が望まれている。一次元ナノ炭素細線であるグラフェンナノリボン(GNR)は、幅やエッジ構造により電子状態が大きく変化する半導体であることが理論的に予測されており、太陽電池、熱電変換素子、スーパーキャパシタ等のエネルギー変換・貯蔵材料への応用が期待されている。前駆体分子を金属表面で化学反応を起こさせ GNR を合成する表面ボトムアップ合成法は、幅やエッジ構造の制御が可能であり、大きな注目を集めている。表面ボトムアップ合成法により、これまでに様々なエッジ構造を持つ GNR の合成は報告されているものの、エネルギー利用を目指すために必要な材料としての電気物性や熱物性に関する研究は未開拓である。

2. 研究の目的

本研究では、前駆体分子を設計・有機合成し、我々が開発した二ゾーン化学気相成長法を用いた新しい二次元炭素構造の表面合成、及び、電気、熱物性についての検討によるエネルギー利用材料としての可能性の探索を目的とした。具体的には、我々が最近開発した2ゾーン型ラジカル重合化学気相成長法 (*Adv.Mater.*, 26, 4134 (2014)) を用い、分子設計した原料分子を、高い反応性を持つ気固界面で重合・脱水素縮環することにより、エッジ構造と分子幅を制御した GNR を金属基板上に作成し、高温アニールにより一次元 GNR を表面誘起化学反応により繋げた二次元 GNR ネットワークの合成法を開発し、基礎物性の探索とデバイス応用を目指す。作成した二次元 GNR ネットワークの電気、熱物性を明らかにし、エネルギー利用の可能性を探ることを目的とした。

3. 研究の方法

アセン型、アームチェア型 GNR を表面合成するのに必要な前駆体分子を有機合成した。GNR の表面合成は、前駆体分子を使い、我々が開発した二ゾーン化学気相成長法を用いた。化学気相成長法とは、低真空中で原料ガスを高温に保持した基板上に吹き付け、化学反応を起こさせて望みの物質を合成する気相合成法である。ベンゼン環がほぼ無限につながったグラフェンの合成では、1000 に保持した Cu や Ni 基板上にメタンガスを吹き付けることにより、分解した炭素原子を金属基板上に固溶化させて六員環を成長させることに成功している。しかしながら、化学気相成長法による GNR のボトムアップ合成に成功した例は従来無かった。その理由は、芳香族分子ピラジカルを発生させてラジカル重合させなければならないが、化学気相成長法が行われる 1 Torr 程度の低真空環境では、系内の極微量の不純物により大きく反応効率を妨げられるからである。これまで報告された GNR の微量合成は、超高真空環境 (10⁻¹⁰ Torr) を必要とする蒸着重合の報告のみであり、化学気相成長法での GNR の合成は非常に困難である。最近、我々は 石英反応管を化学・高温処理することで系内のラジカル失活不純物を極度に減らし、蒸発させた分子部品を清浄化した高温石英管に吹き付け、ピラジカルを失活させることなく高密度に生成させ、ラジカルが局在化した石英管面に密着させた金属基板上でのラジカル重合と脱水素縮環を行う戦略により分子幅を制御したアームチェア型 GNR の合成に初めて成功した (*Adv.Mater.*, 26, 4134 (2014))。具体的には、両末端にハロゲン原子を持つ芳香族分子を低真空中で気化させ、高温に加熱した清浄化石英表面に接触させて原料分子のラジカルを発生させ (ラジカル発生帯) このラジカル種を温度制御した単結晶金属基板上に供給しラジカル重合反応及び脱水素縮環反応を起こさせ (表面重合帯) GNR の大量合成に成功した。本研究では、二ゾーン化学気相成長法を用いて、GNR を金基板上に表面合成し、更に高温アニールすることにより、GNR 鎖同士を化学結合させ、二次元 GNR ネットワークの表面合成を行った。また、表面合成した GNR や二次元 GNR ネットワークの化学構造や電子状態を超高真空走査トンネル顕微鏡 (STM) や顕微ラマン分光を用いて評価した。特に STM を用いた走査トンネル分光法を用いて、様々な種類の二次元 GNR ネットワークのバンドギャップの実測を行い、従来報告されている理論値との比較を行った。金属表面上に表面合成した二次元 GNR ネットワークでは、基板金属と材料とが電氣的に導通しており、材料固有の電気物性や熱物性を探ることができず、デバイス作成が不可能である。この問題を解決するために、金属基板上に合成した GNR をガラスや表面酸化シリコン上に転写した。二次元 GNR ネットワークを成長させた金属基板をエッチング溶液 (KI・I₂ 溶液) を用いて除去し、水面上

に残った GNR を基板に写し取った。この基板を用いて、電気物性（電導度、キャリア移動度）や熱物性の従来知られていなかった基礎物性を明らかにした。

4 . 研究成果

前駆体分子として、Z 型ポリフェニレン誘導体を有機合成した。各種前駆体分子を用いて、ニゾン化学気相成長を行い Au(111) 基板上に GNR を表面合成した。更に 550 から 600 の高温で加熱することにより、GNR 一次元鎖同士が化学結合した二次元 GNR ネットワークが形成されることを明らかにした。走査型トンネル顕微鏡を用いた原子レベル分析により、二次元 GNR ネットワーク構造は、GNR 一次元鎖同士が分子間縮環反応を起こし形成した幅広い GNR 構造、炭素 炭素単結合により形成した梯子型炭素構造から構成されることを明らかにした。走査トンネル分光測定により、各構造のバンドギャップ値から半導体であることが分かった。また、金属基板上で成長させた材料を絶縁性基板上に転写し電気物性を検討した結果、GNR 一次元鎖から二次元ネットワークへの転移により、電気伝導度とキャリア移動度は、数桁増大することが明らかになった。一次元 GNR が化学結合することにより、幅の広い GNR 構造や梯子型構造が形成され、これらの連結構造により、電気伝導性やキャリア移動度の増加が現れたものと考えられる。二次元 GNR ネットワークの電気伝導度は 5000 Scm^{-1} 、キャリア移動度は $0.2 \text{ cmV}^{-1}\text{s}^{-1}$ の大きな値が得られた。更に二次元 GNR ネットワークの熱物性について検討した。二次元 GNR ネットワークのゼーベック係数を熱起電力測定法を用いて検討したところ、数十 μVs^{-1} の性能を示した。この値は、CNT やグラフェン等の他のナノ炭素材料と同等の性能を示すことが明らかになった。また、2 法を用いて膜厚方向の熱伝導率を測定したところ、 $0.11 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ の性能が得られた。この値は、最も低い熱伝導率を持つ炭素材料の一つである。この非常に低い熱伝導性の原因は、梯子構造のナノポアによるフォノン散乱の増加や 100nm 程度の大きさを持つ二次元構造がランダムに配向した粒子境界により熱の伝導が阻害されることによるものと考えられる。熱電材料では、熱を逃し難く（低熱伝導性）、且つ電気を流し易い（高電気伝導性）性質が望まれている。本研究で明らかにした、二次元 GNR ネットワークはある程度の大きさの電気伝導性と非常に低い熱伝導率を有しており、熱電材料としての有用性が示されたと考えられる。GNR 鎖同士の脱水素縮環反応を利用した従来に無い広い幅を持つ GNR 構造や炭素 炭素単結合により形成した梯子型二次元炭素構造は、本研究で見出された新しい二次元ナノ炭素構造である。また、二次元ナノ炭素構造は、ある程度大きな電気伝導性と低い熱伝導性を持つことが示され、ボトムアップ合成 GNR の熱電材料としての有用性を初めて示した。これらの結果は、表面ボトムアップ合成 GNR の研究分野において、初めて熱、電気物性を明らかにした成果であり、エネルギー利用の可能性を示した研究であると思われる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 18件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 S. Mitsukawa, T. Akiyama, M. Hinoue, K. Shima, T. Takishita, S. Higashida, N. Koyama, K. Sugawa, M. Ogawa, H. Sakaguchi, T. Oku	4. 巻 93(3)
2. 論文標題 Fabrication and photocatalytic behavior of titanium oxide-gold nanoparticles composite ultrathin films prepared using surface sol-gel process	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Sol-Gel Science and Technology	6. 最初と最後の頁 563-569
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10971-019-05214-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Y. Noda, F. Shibata, S. Fukuda, G. S. Y. Lee, H. Sakaguchi, H. Yonemura	4. 巻 59
2. 論文標題 Synergetic effect of silver nanoplate and magnetic field on photon upconversion based on sensitized triplet-triplet annihilation in polymer system	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SDDB04-1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab515b	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 H. Yonemura, D. Aira, N. Asakura, K. Ezoe, H. Sakaguchi	4. 巻 59
2. 論文標題 Effect of silver nanoplate on singlet exciton fission in rubrene polymer-composite films	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SDDB03-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab51cc	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 T. Kojima, T. Nakae, Z. Xu, C. Saravanan, K. Watanabe, Y. Nakamura, H. Sakaguchi	4. 巻 14(22)
2. 論文標題 Bottom Up On Surface Synthesis of Two Dimensional Graphene Nanoribbon Networks and Their Thermoelectric Properties	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry - An Asian Journal	6. 最初と最後の頁 4400-4407
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/asia.201901328	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 小島崇寛, Xu Zhen, 坂口浩司	4. 巻 77(6)
2. 論文標題 生物模倣型触媒作用を用いるグラフェンナノリボンの表面合成	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 有機合成化学協会誌	6. 最初と最後の頁 576-583
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5059/yukigoseikyokaishi.77.576	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Kawauchi, T. Kojima, H. Sakaguchi, T. Iyoda	4. 巻 34 (22)
2. 論文標題 Electrostatic Repulsion-Induced Desorption of Dendritic Viologen-2 Arranged Molecules Anchored on a Gold Surface through a Gold-3 Thiolate Bond Leading to a Tunable Molecular Template	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 6420-6427
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.8b00858	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 M. Shimizu, R. Shigitani, T. Kinoshita, H. Sakaguchi	4. 巻 14(10)
2. 論文標題 (Poly)terephthalates with Efficient Blue Emission in the Solid State	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemistry - An Asian Journal	6. 最初と最後の頁 1792-1800
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/asia.201801619	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Z. Xu, T. Kojima, W. Wang, K. Kaushik, A. Saliniemi, T. Nakae, H. Sakaguchi	4. 巻 2(4)
2. 論文標題 On-surface synthesis of graphene clusters from a Z-bar-linkage precursor with quaterphenylbranches	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Materials Chemistry Frontiers	6. 最初と最後の頁 775-779
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c7qm00577f	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 A. Shiotari, K. Tanaka, T. Nakae, S. Mori, T. Okujima, H. Uno, H. Sakaguchi, Y. Sugimoto	4. 巻 122(9)
2. 論文標題 Chiral Discrimination and Manipulation of Individual Heptahelicene Molecules on Cu(001) by Noncontact Atomic Force Microscopy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 4997-5003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.8b00487	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 小島崇寛, 坂口浩司	4. 巻 73(2)
2. 論文標題 金属表面を巧みに利用したグラフェンナノリボンの合成-ボトムアップ法による精密合成	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 化学	6. 最初と最後の頁 68-69
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 M. Saito, Y. Suda, S. Furukawa, T. Nakae, T. Kojima, H. Sakaguchi	4. 巻 46(8)
2. 論文標題 Formation of Dibenzopentalene-linking Polymers under the Two-Zone CVD and Wet Conditions	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1099-1101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.170396	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 S. Song, T. Kojima, T. Nakae, H. Sakaguchi	4. 巻 53
2. 論文標題 Wide graphene nanoribbons produced by interchain fusion of poly(p-phenylene) via two-zone chemical vapor deposition	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 7034-7036
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c7cc02849k	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 A. Shiotari, T. Nakae, K. Iwata, S. Mori, T. Okujima, H. Uno, H. Sakaguchi, Y. Sugimoto	4. 巻 8
2. 論文標題 Strain-induced skeletal rearrangement of a polycyclic aromatic hydrocarbon on a copper surface	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/ncomms16089	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 S. Song, G. Huang, T. Kojima, T. Nakae, H. Uno, H. Sakaguchi	4. 巻 46(10)
2. 論文標題 Interchain-linked Graphene Nanoribbons from Dibenzo[g,p]chrysene via Two-zone Chemical Vapor Deposition	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1525-1527
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.170614	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Kojima, Y. Bao, C. Zhang, S. Liu, H. Xu, T. Nakae, K.P. Loh, H. Sakaguchi	4. 巻 33(40)
2. 論文標題 Orientation and Electronic Structures of Multilayered Graphene Nanoribbons Produced by Two-Zone Chemical Vapor Deposition	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 10439-10445
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.7b01862	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 塩足亮隼, 中江隆博, 宇野英満, 坂口浩司, 杉本宜昭	4. 巻 37(12)
2. 論文標題 機能性有機分子創成のための分子ひずみを駆使した表面合成法	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 機能材料	6. 最初と最後の頁 60-67
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 H. Yonemura, Y. Naka, M. Nishino, H. Sakaguchi, S. Yamada	4. 巻 654(1)
2. 論文標題 Effect of Gold Nanoparticle on Photon Upconversion based on Sensitized Triplet-Triplet annihilation in Polymer Films	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Molecular Crystals and Liquid Crystals	6. 最初と最後の頁 196-200
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/15421406.2017.1358044	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 H. Yonemura, Y. Futaoka, T. Taniguchi, H. Sakaguchi, S. Yamada	4. 巻 654(1)
2. 論文標題 Effect of Silver Nanoparticle on Singlet Exciton Fission in Rubrene Films	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Molecular Crystals and Liquid Crystals	6. 最初と最後の頁 209-213
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/15421406.2017.1358046	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計16件 (うち招待講演 12件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 坂口浩司
2. 発表標題 生物類似表面触媒作用を用いるナノ炭素細線の合成
3. 学会等名 第46回炭素材料学会年会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Nobusue, H. Sakaguchi
2. 発表標題 Nature-Inspired On-Surface Synthesis of Graphene Nanoribbons
3. 学会等名 International Congress on Pure & Applied Chemistry Yangon (ICPAC Yangon) 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坂口浩司
2. 発表標題 生物類似表面触媒作用を用いるナノ炭素細線の合成
3. 学会等名 2019年度分子研研究会「単分子有機化学の挑戦」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Z. Xu, Z. Pei, K. Kaushik, T. Kojima, S. Nobusue, H. Sakaguchi
2. 発表標題 On-surface synthesis of graphene clusters from a quaterphenylbranched Z-bar-linkage precursor
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Z. Pei, Z. Xu, K. Kaushik, S. Nobusue, T. Kojima, H. Sakaguchi
2. 発表標題 Preparation of Interchain-linked 2D Graphene Nanoribbons with Dibenzo[g,p]chrysene by Two-Zone Chemical Vapor Deposition
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Sakaguchi
2. 発表標題 Biomimetic On-surface Growth of Graphene Nanoribbons
3. 学会等名 CIMTEC 2018(8th Forum on New Materials)(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小島崇寛, Xu Zhen, 坂口浩司
2. 発表標題 新規Z型前駆体モノマーを用いたナノ炭素材料の表面合成
3. 学会等名 第29回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Kojima, Z. Xu, H. Sakaguchi
2. 発表標題 Biomimetic surface reaction toward Graphene Nanoribbons
3. 学会等名 International Congress on Pure & Applied Chemistry Langkawi 2018 (ICPAC Langkawi2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 坂口浩司
2. 発表標題 生物模倣触媒作用を用いるグラフェンナノリボンの表面合成
3. 学会等名 2018年日本表面真空学会学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Sakaguchi
2. 発表標題 Bio-inspired on-surface fabrication of graphene nanoribbons
3. 学会等名 Nano-Micro Conference 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Nobusue, H. Sakaguchi
2. 発表標題 Nature-inspired on-surface synthesis of graphene nanoribbons
3. 学会等名 Energy Materials and Nanotechnology (EMN AUCKLAND MEETING 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Nakae, H. Sakaguchi
2. 発表標題 Synthesis of functional nanocarbon molecules by surface-induced conformation-controlled mechanism
3. 学会等名 International Congress on Pure & Applied Chemistry (ICPAC) 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 坂口浩司
2. 発表標題 生物模倣触媒を用いる機能性ナノ炭素細線の合成
3. 学会等名 応用物理学会関西支部平成29年度第1回 講演会「マテリアルデザインとグリーンデバイスの最前線～関西発、イノベーションと若手研究者からの発信～」(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Kojima, T. Nakae, H. Sakaguchi
2. 発表標題 Conformation-assisted synthesis of acene-type graphene nanoribbons on Au(111)
3. 学会等名 International Symposium on Pure & Applied Chemistry (ISPAC)2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 坂口浩司
2. 発表標題 生物模倣触媒によるグラフェンナノリボンの表面合成
3. 学会等名 第53回 フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 H. Sakaguchi
2. 発表標題 Biomimetic on-surface synthesis of graphene nanoribbons
3. 学会等名 Global Research Efforts on Energy and Nanomaterials (GREEN 2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 T. Nakae, H. Sakaguchi	4. 発行年 2017年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 539
3. 書名 Molecular Architectonics: The Third Stage of Single Molecule Electronics	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----